

CONSTRUCCIÓN DE LOS VIADUCTOS DE SALUBITA, SAN ESTEBAN, OASKA Y LUZURIAGA

Antonio SANTOS ESCOBAR

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Grupo Isolux Corsán
Ingeniero del Servicio de Estructuras y Edificación
asantos@isoluxcorsan.com

Javier SANZ MÚGICA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Grupo Isolux Corsán
Jefe de Obra
jsanzm@isoluxcorsan.com

Manuel PERALES ROBLES

Ingeniero Técnico de Minas
Grupo Isolux Corsán
Jefe de Producción
mperales@isoluxcorsan.com

Francisco Javier ENCINAS LÓPEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Grupo Isolux Corsán
Jefe del Servicio de Estructuras y Edificación
javier.encinas@isoluxcorsan.com

Josu MARTÍN GORBEA

Ingeniero Industrial
Grupo Isolux Corsán
Jefe de Producción
jmarting@isoluxcorsan.com

RESUMEN

En el Proyecto de Construcción de la Plataforma en la Nueva Red Ferroviaria del País Vasco en el Sector Este del Ramal Guipuzcoano, Tramo Tolosa-Hernialde, se ha procedido al proyecto y ejecución de cuatro Viaductos para Alta Velocidad.

Se trata de los Viaductos de Salubita, San Esteban, Oaska y Luzuriaga, que dan continuidad a la línea de Alta Velocidad que discurre en esta zona por medio de doble vía en placa.

La semi-integralidad de estos pasos, junto con la gran altura de sus pilas y la disposición de transmisores de impacto (STU) a nivel de sus estribos, han determinado importantes mejoras funcionales, y delicados condicionantes constructivos.

La actual ponencia quiere centrarse en las peculiaridades y requerimientos constructivos que han surgido durante la ejecución de estas estructuras.

PALABRAS CLAVE: Viaducto, Alta Velocidad, Puente Semi-integral, Transmisores de Impacto (STU), Stopper, Cimbra porticada, Contraflechas

1. Descripción de los viaductos

Dando servicio a la línea de Alta Velocidad del País Vasco, tramo Tolosa-Hernialde, se han proyectado y actualmente se han construido, cuatro viaductos de ferrocarril.

1.1. Alzado de los Viaductos

El *Viaducto sobre el Arroyo Salubita* tiene una longitud total de 141.60 m entre ejes de apoyos de estribos, distribuidos en tres vanos continuos de luces 34.00+57.00+50.60 m.

Las dos pilas, de sección rectangular hueca, tienen 29.5 y 26.1 m de altura de fuste.

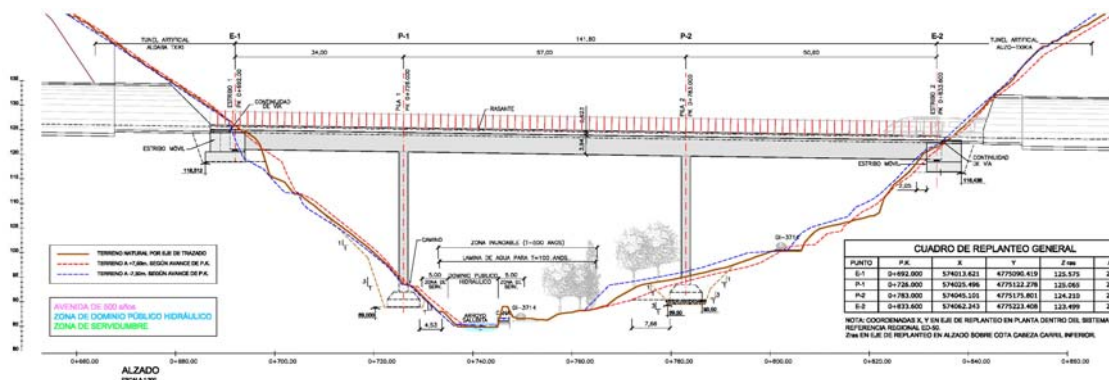


Figura 1. Alzado correspondiente al Viaducto sobre el Arroyo Salubita.

El *Viaducto sobre la Cantera de San Esteban* tiene una longitud total de 230.00 m entre ejes de apoyos de estribos, distribuidos en cinco vanos continuos de luces 40.00+50.00*3+40.00 m.

Las cuatro pilas, de sección rectangular hueca, tienen 22.0, 28.5, 30.0 y 28.0 m de altura de fuste.

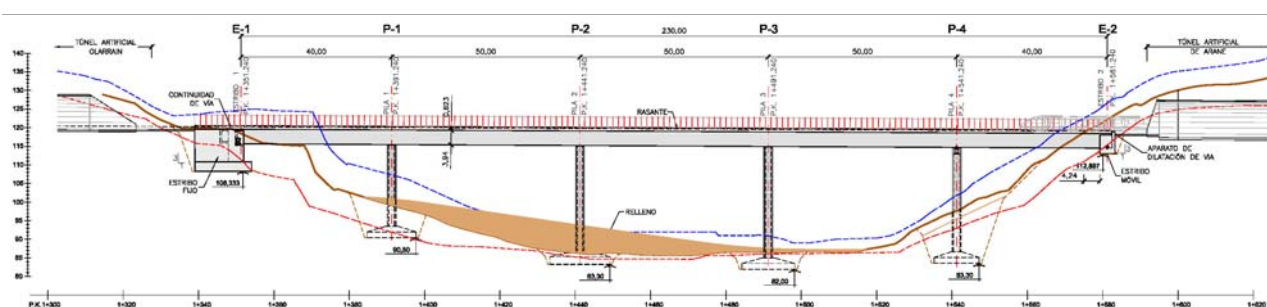


Figura 2. Alzado correspondiente al Viaducto sobre la Cantera de San Esteban.

El *Viaducto sobre el Arroyo Oaska* tiene una longitud total de 96.70 m entre ejes de apoyos de estribos, distribuidos en dos vanos continuos de luces 48.35+48.35 m entre ejes de apoyos.

La pila, de sección rectangular hueca, tiene 21.4 m de altura de fuste.

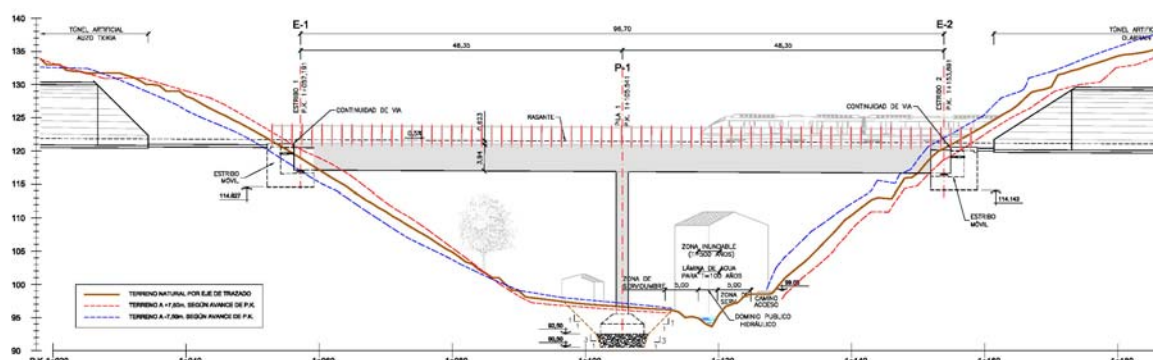


Figura 3. Alzado correspondiente al Viaducto sobre el Arroyo Oaska.

El *Viaducto sobre el Arroyo Luzuriaga* tiene una longitud total de 98.00 m entre ejes de apoyos de estribos, distribuidos en dos vanos continuos de luces 46.00+52.00 m.

La pila, de sección rectangular hueca, tiene 21.0 m de altura de fuste.

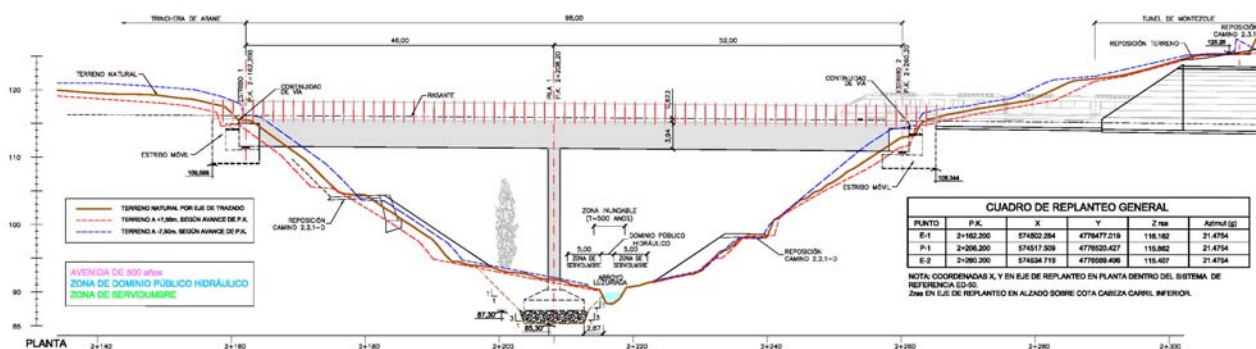


Figura 4. Alzado correspondiente al Viaducto sobre el Arroyo Luzuriaga.

Salvo para el Viaducto de San Esteban, sin estos elementos, la disposición de transmisores de impacto (STU), a nivel de estribos, ha permitido reducir su tamaño de forma significativa.

La semi-integralidad de estas estructuras se encuentra en que el tablero se apoya, a nivel de estribos, mediante aparatos de apoyo tipo POT, mientras que a nivel de las pilas, se materializa el empotramiento entre tablero y pila, a excepción de la pila P4 del Viaducto de San Esteban.

1.2. Sección transversal

Las cuatro obras de paso, tienen alineación recta en planta e idéntica sección transversal de tablero, a base de un cajón hueco de hormigón pretensado con 3.94 m de canto constante en su eje y 14.00 m de anchura total gracias a sendos voladizos de 3.60 m.

La implantación de vía en placa como solución de sustentación de la vía de la línea de Alta Velocidad sobre los Viaductos del tramo Tolosa-Hernialde, se resuelve adoptando dos losas independientes de hormigón armado, bajo cada una de las dos vías, con 2.80 m de anchura y unos 50 cm de altura media.

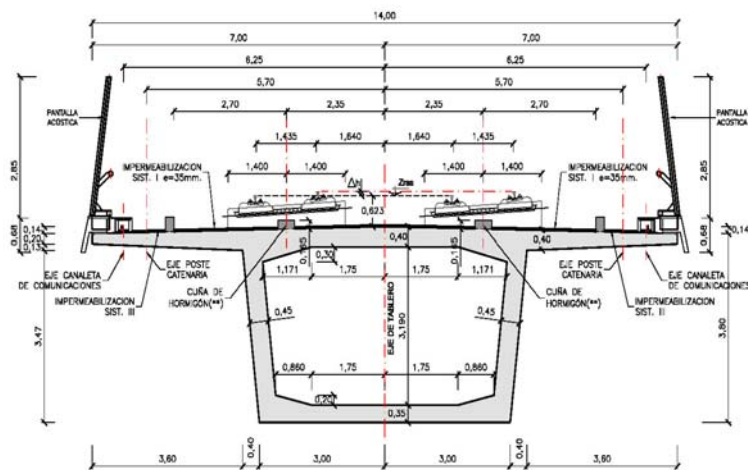


Figura 5. Sección transversal de los Viaductos

La conexión de cada una de estas placas al tablero de los viaductos se resuelve por medio de unos dados, de hormigón armado, denominados Stopper. Con sección cuadrada de 0.40 x 0.40 m en planta y con 0.165 m de altura, se ejecutan en segunda fase, sobre el hormigón endurecido de la sección del tablero y con la armadura a modo de esperas embebidas en la losa superior del cajón.

2. Proceso constructivo de los Viaductos

El proceso constructivo seguido para la construcción de los cuatro Viaductos ha sido el mismo.

Tras el levantamiento de los estribos y pilas, se acomete el hormigonado “in situ” del tablero, empleando cimbra porticada.

Empleando vigas en celosía para salvar luces importantes y perfiles laminados normalizados en los demás casos, se configuran los pórticos necesarios para la ejecución de cada tablero.

El apoyo de estas vigas salva-talud se lleva a cabo de tres formas distintas, disponiendo torres de cimbra con cimentación propia provisional, sirviéndose del apoyo en las pilas ya construidas, mediante el empleo de los denominados martillos (ménsulas ancladas a las pilas), o ejecutando ménsulas de apoyo a nivel de los estribos.



Figura 6. Construcción de una pila del Viaducto de Salubita



Figura 7. Disposición de cimbra en el Viaducto de Salubita

El hormigonado de la sección cajón del tablero se resuelve en dos fases, ejecutando la artesa en ‘U’ en primera fase, para completarla con la losa superior y alas en segunda fase.

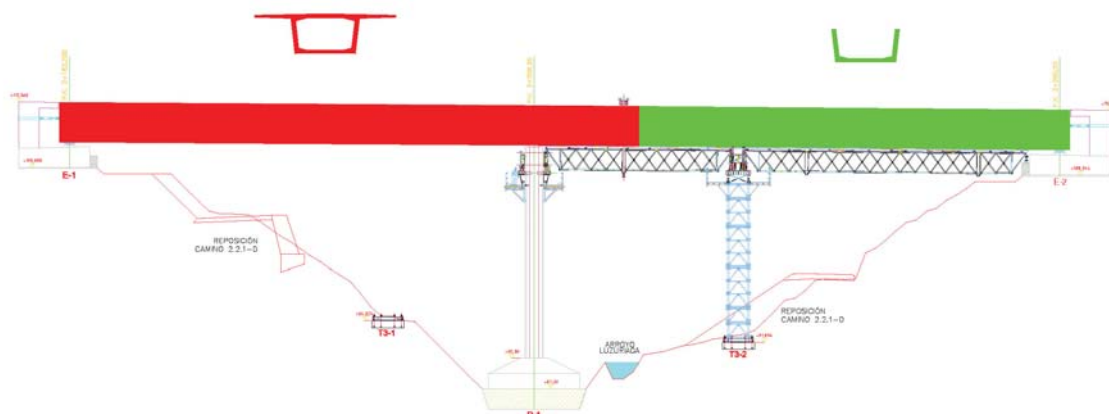


Figura 8. Reproducción de las dos fases de hormigonado del tablero del Viaducto de Luzuriaga

3. Control de movimientos

La construcción de los Viaductos combina la doble problemática que supone el empleo de torres de cimbra de gran altura y sus crecientes imperfecciones geométricas y de montaje propias, junto al efecto de los movimientos impuestos durante la ejecución del tablero en la fase de pretensado.

IDEAM-FHECOR ha debido estimar estos movimientos considerando dos hipótesis o situaciones constructivas, de estructura hormigonada antes y después del tesado:

Hipótesis A: Estructura hormigonada antes de tesar. Se determinan los movimientos acumulados, si los hubiera (en caso de no desacople entre cimbra y estructura durante las operaciones de cuelgue y ajuste de cimbra entre tramos de hormigonado), más la retracción de la longitud de puente hormigonada, la fluencia de los tramos previos pretensados y la acción térmica. Existe vinculación efectiva entre hormigón y cimbra.

	FASE 1		FASE 2		FASE 3	
	Hipótesis A*	Hipótesis B*	Hipótesis A*	Hipótesis B*	Hipótesis A*	Hipótesis B*
Estribo 1	6	12	10	9	8	8
Apeo Vano 1	4	0	-	-	-	-
Pila 1	0	0	5	5	4	4
Apeo Vano 2	-2	0	0	-20**	-	-
Pila 2	-	-	-4	-20	-5	-5
Apeo Vano 3	-	-	-6	-20	-8	-5
Estribo 2	-	-	-	-	-11	-11

Hipótesis B: Estructura hormigonada tras el tesado. Al tesar, la estructura se desapea al ir entrando en carga el pretensado, por lo que el tablero tenderá a comportarse de forma independiente a la cimbra y liberará prácticamente de reacción las torres de apeo. Sin embargo, el apeo, solidario con la cabeza de pila, se moverá de forma conjunta a ésta.

Figura 9. Determinación de movimientos impuestos (Viaducto de Salubita)



Dada la importancia de estos movimientos impuestos y de cara a asegurar la estabilidad de algunas torres de cimbra, se ha debido recurrir a la colocación de teflones en coronación de algunas de estas. Se incorporaron unas planchas de teflón entre los patines soldados a las carrileras y las cerchas, de manera que mediante unas fijaciones a base de tornillos se manipulase para liberarlas durante los tesados y fijarlas durante los hormigonados.

Figura 10. Ubicación de las planchas de teflón para liberación de movimientos

Por otro lado, se ha llevado un exhaustivo control topográfico tanto durante el montaje de la cimbra, como durante la ejecución de los tableros. De esta manera, se ha controlado el aplome de las torres de apeo, las contraflechas dadas a las celosías de la cimbra y se ha comprobado que los movimientos de las pilas, tablero y elementos de la cimbra entraban dentro de las tolerancias estimadas.

Dicho control se realiza con la colocación de dianas reflectantes de 60x60 mm en los elementos de control: cabezas de torre de apeo, carrileras en pilas, torres y estribos, celosías, pilas y losa de tablero.



SAN ESTEBAN - CONTRAFLECHAS - ULMA				
PK	DIST. PARCIALES	CONTRA-FLECHA	F2 EJE *	F2 ALA *
1+351.240	0.000	0	5	5
1+358.490	7.250	40	10	7
1+363.190	4.700	60	10	10
1+369.190	6.000	63	10	10
1+375.690	6.500	40	10	7
1+382.240	6.550	0	5	5
1+384.955	2.715	11	10	7
1+386.855	1.900	14	10	10
1+389.055	2.200	5	10	7
1+391.240	2.185	0	5	5
1+398.620	7.380	23	11	7
1+401.240	2.620	34	20	5

VANO 1

Figura 11. Colocación de dianas y registro de control topográfico

Mediante la lectura de las dianas, se controla no sólo los movimientos longitudinales de los elementos, sino también las flechas y sus distintas recuperaciones, de manera que se recalculan las contraflechas de los siguientes encofrados para garantizar la rasante de proyecto.

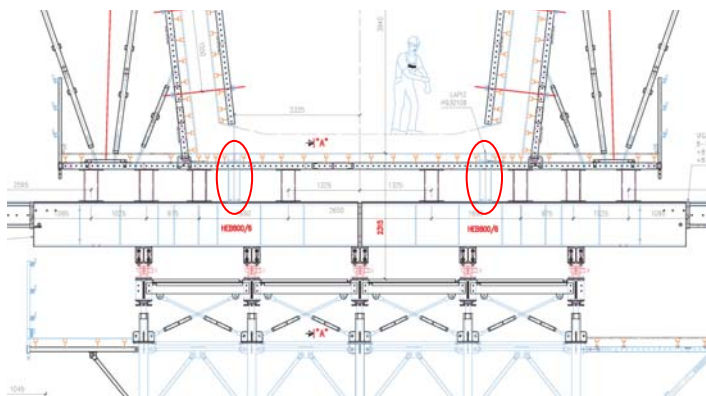
4. Refuerzos y detalles

Entre las particularidades que presenta esta Obra, se recogen a continuación algunas situaciones que han requerido el análisis y disposición de refuerzos o armados no previstos en proyecto.

4.1. Refuerzo por colocación de “lápicos”

Las fases constructivas de la sección transversal del tablero, han requerido el análisis y disposición de un refuerzo de armado no previsto inicialmente.

Como ya se ha especificado, se ha planteado el hormigonado de la sección cajón en dos fases, correspondiente la primera a la ejecución de la artesa en ‘U’, para construir en segunda fase la losa superior y vuelos de la sección.



Pero, a la hora de hormigonar la losa superior, el suministrador de la cimbra y encofrado, plantea la necesidad de disponer de unos “lápicos” o enanos que aseguren la transmisión de cargas entre la sección en “U” y los apeos.

Ello requiere el refuerzo de la losa inferior frente al efecto de punzonamiento introducido por estos “lápicos”.

Figura 12. Ubicación de los “lápicos”



Figura 13. Disposición de “lápicos” y colocación de refuerzo por ubicación de los mismos

4.2. Detalle de armado de los “stoppers”

Los “stoppers” constituyen los dados de hormigón que permiten la conexión entre el tablero y la vía en placa.

El tramo ferroviario de Alta Velocidad estudiado en este documento, es el primero en adoptar la vía en placa como solución de plataforma, frente a la solución corriente de vía sobre balasto, por lo que la concepción de la misma junto a la conexión con el tablero ha constituido una novedad que no se había estudiado con anterioridad.

Por ello, el detalle de armado de este elemento de conexión, “stopper”, se estudió y definió durante la construcción de la estructura, al no haber sido fijada con anterioridad la solución a adoptar en la conexión empleada en estos Viaductos.

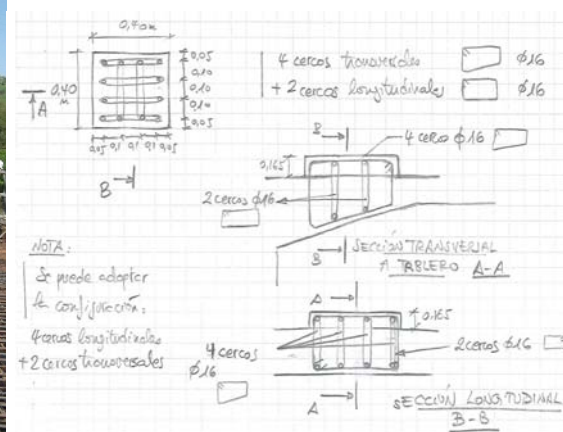


Figura 14. Determinación y colocación del armado de los “stoppers”

4.3. Colocación de “martillos” en pilas

Como ya se ha mencionado al hablar del proceso constructivo, el apoyo de las vigas celosía a nivel de las pilas de cada estructura, se resuelve disponiendo los denominados “martillos”, a modo de ménsulas de apoyo metálicas ancladas al fuste de las pilas.

Dicho anclaje se lleva a cabo empleando barras Dywidag pasantes de cara a cara del fuste, lo que ha obligado a macizar y reforzar los últimos 4,5 m de la pila, inicialmente previstos con fuste hueco. Con este cambio se rigidiza igualmente el fuste, de cara a absorber los movimientos impuestos durante las fases de construcción, sin generar desplazamientos excesivos.

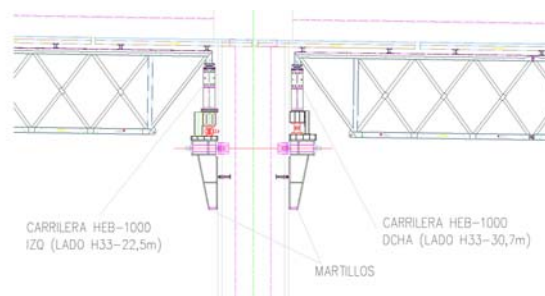


Figura 15. Configuración y colocación de los “martillos”

La determinación del refuerzo necesario en cabeceros de pilas, para la disposición de estos elementos de apoyo de la cimbra, ha requerido un análisis detallado y coordinado por parte de los proyectistas de la cimbra y de los viaductos.

Los apoyos con “martillos” requieren la disposición de barras de anclaje cuya cabeza de fijación, contracono, transmite unas tensiones al hormigón de la pila que fueron determinadas por ULMA. Y a partir de las cuales IDEAM-FHECOR determinó los refuerzos adicionales de las pilas.

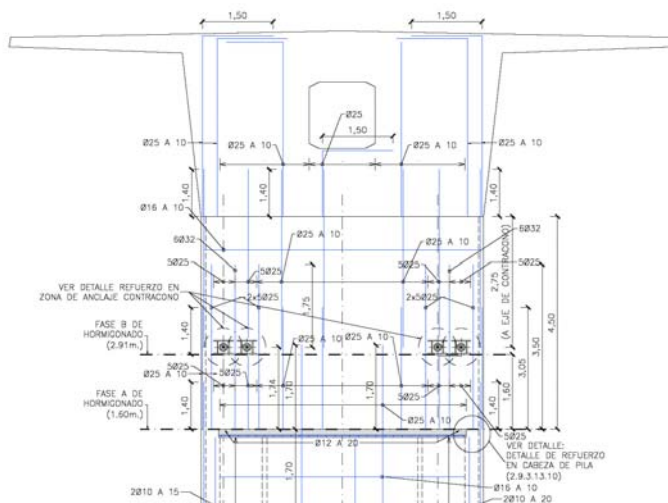
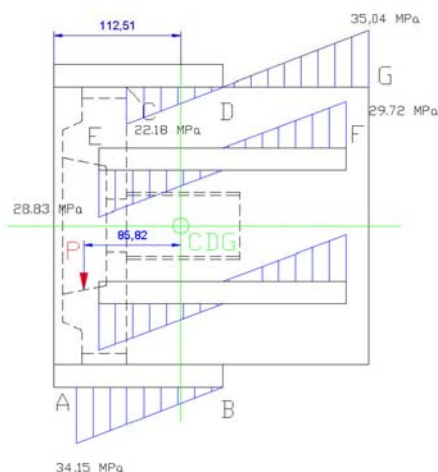


Figura 16. Obtención de tensiones y localización de refuerzos (ULMA e IDEAM-FHECOR)

4.4. Colocación de “STUs”



La disposición de transmisores de impacto (Shock Transmission Unit) en sendos estribos de tres de los cuatro Viaductos (a excepción del Viaducto de San Esteban), permite prescindir de la figura del estribo fijo, distribuyendo de forma eficaz las cargas lentas y de impacto entre los dos estribos de cada estructura, de menores dimensiones.

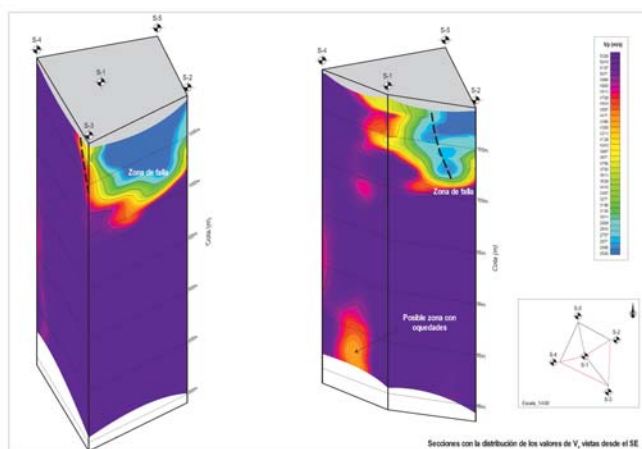
Su empleo ha requerido la determinación de un refuerzo importante en el armado de los alzados de estribo, así como un exhaustivo replanteo de cada uno de estos elementos. Se han dejado unos tubos de acero galvanizado embebidos en el hormigón junto con una plantilla para garantizar la alineación de las barras que unen las placas de reparto. Debido al tamaño y peso de dichos amortiguadores, se han instalado antes de ejecutar la losa superior del estribo, y se han dejado puertas en los estribos para su mantenimiento.

Figura 17. Colocación de los “STUs”

5. Cambio de solución de cimentación

Como ocurre en numerosas ocasiones, la realización de nuevas prospecciones y estudios geofísicos tras la fase de proyecto, ponen de manifiesto nuevos condicionantes o particularidades que pueden cambiar la concepción de la cimentación inicialmente prevista y calculada. Ello incide en la construcción de la cimentación, debiendo, en ocasiones, cambiar la tipología de la misma.

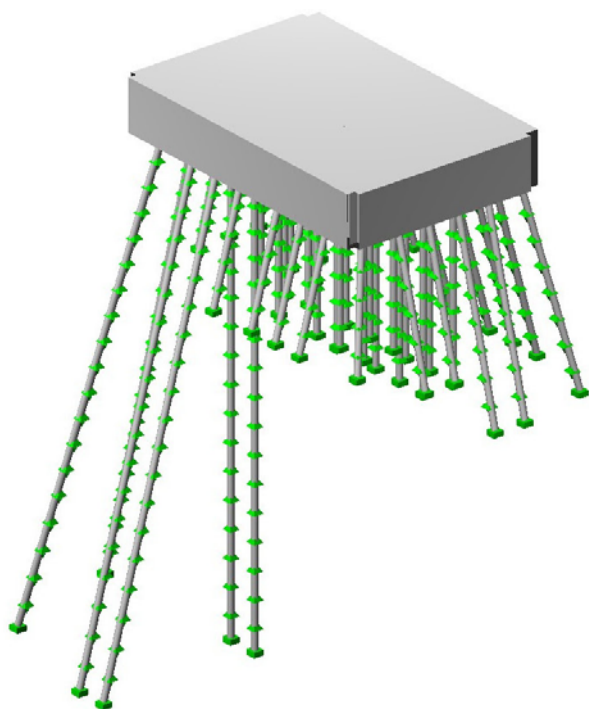
Esto ha ocurrido en el estribo E2 del Viaducto de Luzuriaga y en el estribo E1 del Viaducto de San Esteban.



La presencia de un terreno kárstico ha puesto de manifiesto la presencia de blandones y socavones que han determinado la necesidad de modificar la cimentación directa inicialmente planteada en proyecto.

Se ha llevado a cabo un estudio geofísico, mediante georradar de procesado y tomografías eléctricas para la determinación de las propiedades geomecánicas del macizo por debajo del apoyo previsto, en caliza.

Figura 18. Levantamiento geofísico del terreno de cimentación



La interpretación geofísica combinada con la extracción de testigos del subsuelo por sondeo, ha cambiado la concepción inicial de estos dos estribos.

Así, durante la construcción de la cimentación, se ha debido recalcular y ejecutar una cimentación distinta a la prevista.

La solución estudiada y ejecutada tras la modificación de cimentación directa de proyecto, ha sido el empleo de una cimentación profunda mediante empleo de micropilotes de longitudes variables en función de la litología reconocida.

Figura 19. Modelo de cálculo de la cimentación micropilotada

6. Ficha Técnica

MODIFICADO Nº1: PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA EN LA NUEVA RED FERROVIARIA DEL PAÍS VASCO EN EL SECTOR ESTE DEL RAMAL GUIPUZKOANO. TRAMO: TOLOSA-HERNIALDE.

Propiedad:

GOBIERNO VASCO: Obras Públicas y Transportes

Fernando Tolosa (ETS), Jesús López-Tafall Martínez (Saitec)

Proyecto:

SAITEC, IDEAM, FHECOR, Ingenieros Consultores

Asistencia técnica a la dirección de obra:

ESTEYCO: Maira Bujedo

EUROCONSULT NORTE: Fernando Juan Dolz

Constructores:

ISOLUX CORSÁN: CORSÁN-CORVIAM.

Javier Sanz Múgica. Jefe de Obra y luego Gerente de la UTE.

Josu Martin Gorbea. Jefe Producción Estructuras.

Manuel Perales Robles. Jefe Producción Tierras.

GEOTUNEL